Les dossiers pédagogiques
du planétarium

La rotation de la Terre

Ce dossier pédagogique vous aidera :

- A préparer votre venue au planétarium
- A prolonger votre visite par d'autres activités
- A mieux connaître le sujet pour répondre aux questions que risquent de vous poser les élèves.

La rotation de la Terre

Dossier enseignant

Résumé

Dans le planétarium, on observera le mouvement apparent du ciel (soleil et étoiles).
En atelier, on montrera que deux modèles permettent d'expliquer les mouvements observés : l'ensemble du ciel tourne autour de la Terre ou la Terre tourne sur elle-même.

Activités préparatoires

Avant de venir au planétarium, les élèves devront avoir observé au moins le mouvement apparent du Soleil et réalisé un petit relevé d'ombres qui servira lors de l'animation (voir fiche).
Avant la séance au planétarium, il n'y a que des observations à réaliser. Il vaut mieux ne pas encore aborder le problème des modèles (est-ce la Terre qui tourne sur elle-même ?)

1. Observation du mouvement apparent du Soleil

Il ne faut jamais observer directement le Soleil : il existe des risques sérieux de lésions au niveau de l'œil. Il faut bien prévenir les enfants car ces lésions ne sont pas douloureuses.
Plusieurs méthodes sans aucun danger sont possibles :
- Dans une salle de classe orientée approximativement au sud, on fixe sur une fenêtre un carton noir d'environ 10 cm de côté percé d'un trou de quelques millimètres. En traversant ce trou, la lumière du Soleil forme une tache lumineuse au sol ou sur un mur. En quelques minutes, on observe cette tache lumineuse se déplacer. En la suivant à différentes heures, on en déduit la direction du Soleil.
- On observe au cours de la journée l'ombre d'un poteau, d'un banc… On peut aussi tracer au sol à la craie l'ombre d'un élève. On s'aperçoit en quelques minutes que cette ombre se déplace.
- On peut réaliser un relevé d'ombres sur une planchette (voir annexe 1)
- On peut aussi reproduire le mouvement apparent du Soleil dans le ciel sur un saladier transparent (voir annexe 2).

Il suffira de réaliser une ou plusieurs de ces expériences précédentes.

2. Réaliser un petit relevé d'ombres

Ce relevé devra être amené lors de l'animation. Il servira à tester les deux modèles.
On peut utiliser la maquette joint sur bristol à construire (annexe 3) ou on pourra passer au muséum prendre un modèle en plastique de la même dimension.
Un jour où l'on espère avoir un peu de Soleil, on dispose le bristol ou la mini planchette en plastique bien horizontalement, orientée comme indiquée vers le nord. De temps en temps, par exemple toutes les heures, on note la position de l'extrémité de l'ombre. On pourra indiquer à côté l'heure. Il faut veiller à ce que le relevé ne bouge pas au cours de la journée.

3. Observer le mouvement apparent des étoiles

C'est une activité facultative plus difficile à mettre en œuvre puisqu'elle doit se passer de nuit. Il s'agit d'observer depuis un point précis la Grande Ourse à un moment donné en notant sa position par rapport à certains repères (arbre, cheminée…). On recommence l'observation une ou deux heures plus tard depuis le même point. On doit s'apercevoir que la Grande Ourse s'est déplacée dans le ciel.

Activités complémentaires

Après avoir suivi l'animation au planétarium, on pourra réaliser d'autres relevés d'ombres ou d'autres relevés sur le saladier pour s'apercevoir que la course apparente du Soleil pendant la journée varie au cours de l'année.
Il faudra aussi avec les élèves terminer de compléter le petit dossier qu'ils auront reçu pendant leur visite et qu'ils n'auront sans doute pas terminé.
Enfin, on n'oubliera pas de construire la carte tournante du ciel.

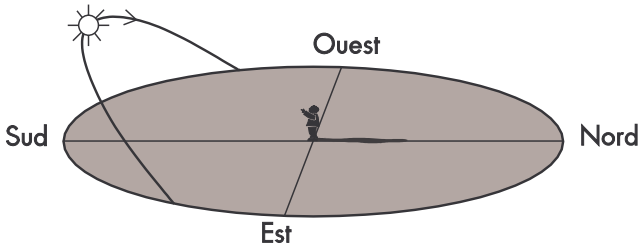
Compléments pour l'enseignant

1. Les observations

Soleil

On voit le Soleil se lever vers l'est et se coucher vers l'ouest. A midi solaire, il passe plein sud et il est au plus haut dans le ciel.

Le Soleil ne se lève à l'est pour se coucher à l'ouest qu'aux équinoxes.



Le mouvement apparent du Soleil un jour d'automne ou d'hiver

Etoiles

On voit, les étoiles tourner autour de la Polaire.
Les constellations proches de l'Étoile polaire (comme la Grande Ourse ou Cassiopée) ne se couchent jamais : on les appelle constellations "circumpolaires" (elles dépendent de la latitude de l'observateur).

Quand on observe vers le nord, les étoiles paraissent tourner autour de la Polaire dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Quand on observe vers le sud, on voit les étoiles se lever vers l'est, monter dans le ciel et se coucher vers l'ouest. Elles passent au méridien (plan vertical nord-sud) juste entre leur lever et leur coucher.

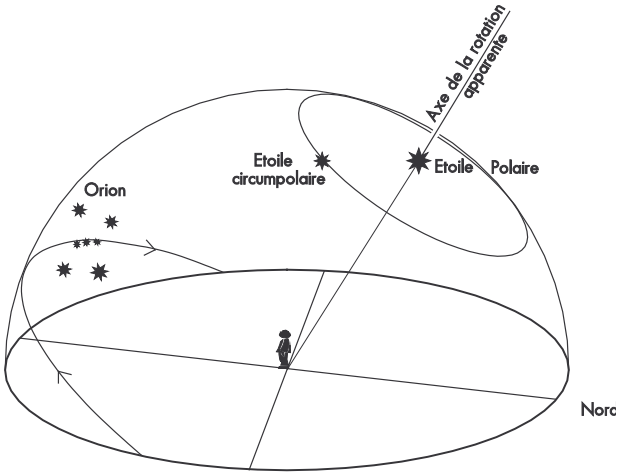


Schéma du mouvement apparent du ciel

2. Les modèles

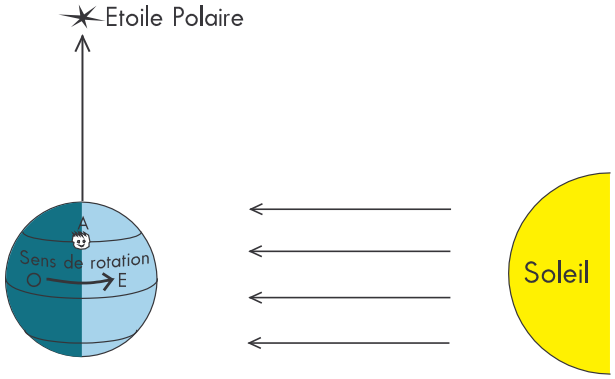
Modèle n°1

La Terre est immobile au centre du monde. Le ciel tourne autour de la Terre en un jour.

Modèle n°2

Le ciel est immobile. La Terre tourne sur elle-même en un jour (pour le problème du mouvement diurne, la Terre peut rester au centre du monde, cela n'a pas d'importance).

On voit bien le Soleil se déplacer d'est en ouest et les étoiles tourner autour de la Polaire dans le sens direct.



Ces deux modèles sont strictement équivalents. C'est un problème de référentiel.

Voici quelques-uns des arguments qui ont été avancés au cours de l'histoire pour l'un ou l'autre des modèles :

Arguments pour la Terre immobile

Bon sens : on ne sent pas la Terre tourner.

Aristote: Le mouvement de la Terre est un mouvement forcé, il ne peut donc être éternel. Or, l'ordre du monde est éternel.

Un corps lourd, projeté vers le haut, retombe au même point (et non à l'ouest de ce point), donc la Terre ne se meut pas, et elle est située au centre du monde.

La rotation de la Terre devrait s'accompagner d'un vent violent d'Est

Le tir au canon selon Tycho Brahé : si la Terre tourne (d'ouest en est), un canon tirant vers l'ouest aura une plus grande portée que s'il tire vers l'est car, pendant la trajectoire du boulet, le canon s'éloigne du point de chute dans le 1er cas et s'en rapproche dans le second.

Arguments religieux : "Alors Josué parla au Seigneur (...) : Soleil, arrête-toi (...) Et le soleil s'arrêta et la lune s'immobilisa (...) " (citation tirée de la Bible). C'est bien le Soleil qui s'est arrêté

Arguments pour la rotation de la Terre

La rotation de la Terre avait déjà été proposée par Héraclide du Pont (-4ème siècle), élève de Platon.

Jusqu'au 17ème, le seul argument est celui de la simplicité. Ce principe d'économie a été invoqué par Buridan, Oresme, Bruno... La Nature et Dieu opèrent toujours par les voies les plus simples. Comme le dit Galilée :

"...qui voudrait croire que la nature (tous s'accordent à penser qu'elle ne met pas en œuvre beaucoup de moyens quand elle peut se contenter de peu) ait choisi de mouvoir à une vitesse inconcevable un nombre immense de très grands corps, pour produire un résultat auquel suffirait le mouvement modéré d'un seul corps tournant autour de son propre centre ?"

Galilée : Il a montré que la Terre pouvait tourner sur elle-même sans que l'on s'en aperçoive mais il n'a aucune preuve réelle (ses arguments à partir des marées sont faux).

Aplatissement de la Terre : il est de 1/298 et s'explique par sa rotation dans le cadre de la mécanique de Newton. Il fut mesuré au début du 18ème par deux expéditions, l'une au Pérou, l'autre en Laponie.

Diminution de la pesanteur à l'équateur : l'accélération de la pesanteur est de 9,83 $m.s^{-2}$ aux pôles et de 9,78 $m.s^{-2}$ à l'équateur. L'aplatissement de la Terre joue pour un tiers dans cet écart et l'accélération centrifuge (directement liée à sa rotation) pour les deux tiers.

Expériences de chute libre en 1804 dans un puits de mine en Allemagne, par Benzeiberg
h = 85 m ; 29 chutes ; déviation vers l'est : 11,5 mm +/- 3 mm (calculé : 10,7 mm)
déviation vers le nord : 1,6 mm +/- 4 mm

Foucault : son pendule est installé au Panthéon en 1851. Les parisiens venaient "voir tourner la Terre".
Longueur = 67 m ; Oscillations : environ 3 m ; Période : 16 s
Le plan des oscillations se déplace dans le sens des aiguilles d'une montre avec une période de 31 h 47 min.

Coriolis (début du 19ème) : l'accélération de Coriolis due à la rotation de la Terre explique le sens de rotation des cyclones (sens direct dans l'hémisphère nord) ou la déviation des courants marins ou aériens vers la droite dans l'hémisphère nord mais elle n'a pas d'influence sur nos lavabos. Galilée avait déjà deviné que la rotation de la Terre devait dévier un tir vers la droite dans l'hémisphère nord mais il pensait que ce n'était pas mesurable.

En conclusion : il est équivalent de dire que le ciel tourne autour de la Terre ou que la Terre tourne sur elle-même. Mais la mécanique céleste n'est simple à comprendre que si l'on considère que c'est la Terre qui tourne sur elle-même. Par exemple, si on suppose la Terre fixe, la vitesse des étoiles devrait être considérable (supérieure à la vitesse de la lumière) pour faire le tour de la Terre en un jour.
L'idée de la rotation de la Terre sur elle-même fut acceptée avant même les premières preuves mécaniques. Quand Newton par exemple s'intéresse au mouvement de la Lune à la fin du 17ème siècle, quelques décennies seulement après le procès de Galilée, il considère qu'elle tourne autour de la Terre en 27,3 jours (et non en 24 h 50, sa période apparente).

3. Les points cardinaux

On peut définir les points cardinaux à partir de l'observation du ciel.

Le sud est la direction du Soleil quand il est au plus haut. C'est alors le milieu de la journée.
Les réalisateurs de cadrans solaires ont besoin d'avoir précisément la direction du sud. Une des méthodes consiste à utiliser un relevé d'ombre et à chercher son axe de symétrie passant par la base du gnomon (le bâton vertical faisant ombre).

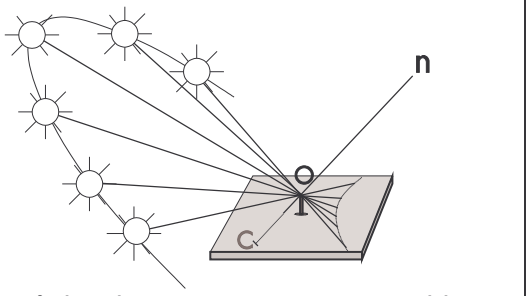
Le phénomène est le même avec les étoiles. Une étoile comme Sirius se lève et se couche. Elle est exactement au sud quand elle passe au plus haut dans le ciel.

Le nord est à l'opposé du sud. On définit ainsi le nord géographique et non magnétique.

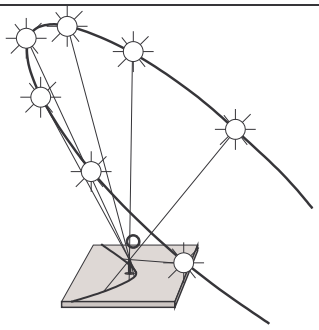
Quand on regarde le nord, on a l'est à droite et l'ouest à gauche. On ne peut pas définir l'est comme la direction du lever du Soleil car celui-ci se lève entre le sud-est et le nord-est suivant la saison.

4. Les relevés d'ombres

Quand on réalise un relevé d'ombres, on s'aperçoit que l'extrémité de l'ombre suit une courbe, (exceptionnellement une droite aux équinoxes). Il s'agit d'une hyperbole. Au printemps et en été, le gnomon (le bâton qui fait ombre) est situé à l'intérieur alors qu'il est à l'extérieur de la courbe en automne et en hiver.
Explication mathématique : si l'on joint l'extrémité du gnomon aux différentes positions apparentes du Soleil au cours de la journée, on obtient un cône. La courbe cherchée est l'intersection de ce cône avec la surface horizontale. On obtient des hyperboles (on pourrait trouver des ellipses au nord du cercle polaire).



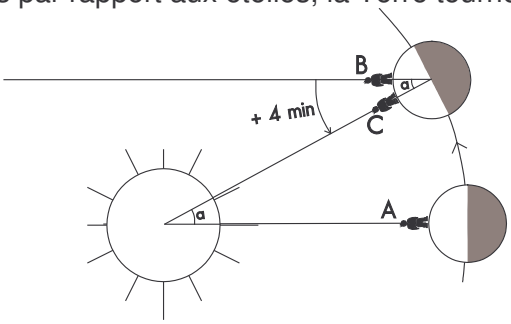
Relevé d'ombres en automne ou en hiver



Relevé d'ombres au printemps ou en été

5. Période de rotation

On dit que la Terre tourne sur elle-même en 24 heures. C'est vrai si on prend le Soleil comme référence. Mais par rapport aux étoiles, la Terre tourne sur elle même en 23 h et 56 min.



Cette différence de 4 minutes provient du fait que la Terre tourne autour du Soleil :

Pour le personnage en A, il est midi. Après 23h 56min, il se retrouve en B, la Terre ayant effectué une rotation sur elle-même par rapport aux étoiles. Mais il n'est pas encore midi. Il faut attendre encore près de 4 minutes pour que le personnage se retrouve en C, à midi solaire.

Bibliographie

Et pourtant elle tourne ! Le mouvement de la Terre. Jacques Gapaillard. Ed du Seuil. Un excellent livre retraçant l'histoire des découvertes sur les mouvements de la Terre.

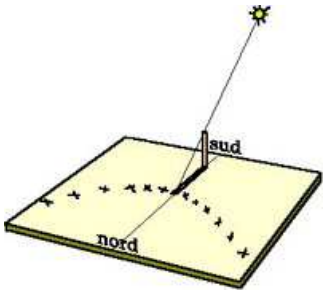
Dialogue sur les deux grands systèmes du monde. Galiléo Galilei. Editions du Seuil.

Les saisons et les mouvements de la Terre. Pierre Causeret et Liliane Sarrazin. Belin Pour la Science.

Annexe 1

Relevé d'ombres

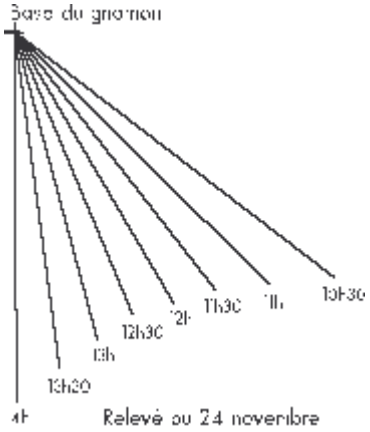
Observation



Matériel : 1 planchette pour fixer une feuille de format A3 ou A4.
1 vis, 1 bâton ou un rivet de 3 à 5 cm de hauteur que l'on fixe sur la planchette, perpendiculairement (on l'appellera le gnomon).
1 niveau.
Lampes de poche.

La planchette est posée sur un support bien horizontal (table...) dans un lieu éclairé par le Soleil une bonne partie de la journée. Il est préférable de fixer la planchette qui ne doit pas être déplacée au cours du relevé. Toutes les heures ou toutes les demi-heures, on dessine l'ombre de la vis ou du bâton en indiquant bien l'heure du relevé.

Relevé en cours...



Exemple d'un relevé d'ombres réalisé en novembre

Exploitation

Plusieurs questions peuvent se poser à la suite de cette expérience :
* Pourquoi les ombres n'ont-elles pas toutes la même longueur ?
* A quelle heure a-t-on l'ombre la plus courte ?
* Obtiendra-t-on le même relevé chaque jour ?

Pour mieux comprendre le phénomène, on peut matérialiser les rayons lumineux et donc la direction du Soleil en tendant un fil passant par l'extrémité de l'ombre et le haut du gnomon.

On peut vérifier que le Soleil est au plus haut quand l'ombre est la plus courte. Il est alors au sud.

Annexe 2

Saladier céleste

Expérience

Matériel : une cloche à salade d'environ trente centimètres de diamètre ou une demi sphère plus grande (comme celles qui servent à présenter les maquettes d'architectes). Cette demi-sphère est fixée sur une planche sur laquelle on a matérialisé son centre, par une cible par exemple. Ce centre représente la position de l'observateur O. On peut construire un paysage à l'intérieur.
On fixe ce matériel sur une table bien horizontale en veillant à ce que rien ne bouge au cours de la journée.

Toutes les heures ou toutes les demi heures, on colle une gommette qui représente la position apparente du Soleil pour l'observateur O. Une méthode simple consiste à préparer un carton percé d'un trou légèrement plus grand que les gommettes. On place le carton sur la demi sphère pour que la lumière passant par le trou vienne éclairer le centre O. On peut alors coller la gommette sur laquelle on aura auparavant noté l'heure.

Si on effectue ce relevé à différentes saisons, on remarque que la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon varie. Sur la photo, la série de gommettes du haut correspond au solstice d'été (21 juin), celle du bas au solstice d'hiver (21 décembre) et celle du milieu à l'équinoxe d'automne (23 septembre). Les premiers relevés de ce type ont été réalisés par Roland Szostak.

Exploitation

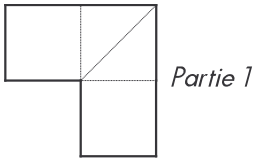
Il faut déjà bien comprendre que les gommettes correspondent à la position du Soleil pour un observateur placé AU CENTRE de la demi-sphère. Le principal but de l'expérience est de matérialiser une observation. Quand on demande à des enfants ayant observé le Soleil au cours de la journée de dessiner sa course apparente dans le ciel, on est parfois surpris du résultat...

On peut vérifier que le Soleil est au plus haut au milieu de la journée et qu'il est alors au sud.

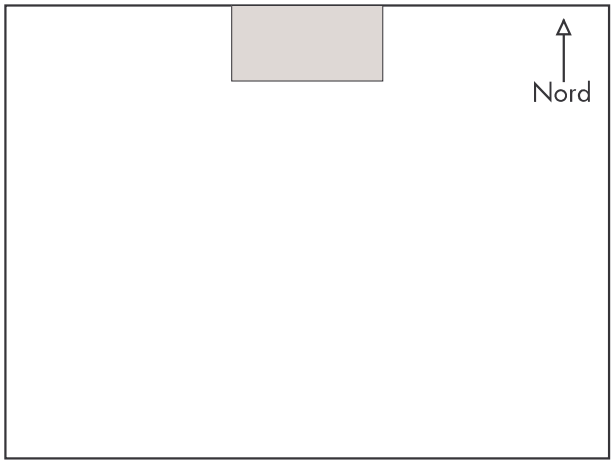
Si on répète l'expérience à différentes dates, on peut en tirer des conclusions sur la hauteur maximale du Soleil, sur la direction de son lever ou de son coucher ou sur la longueur de la journée.

Annexe 3

Le mini relevé d'ombres



Partie 2

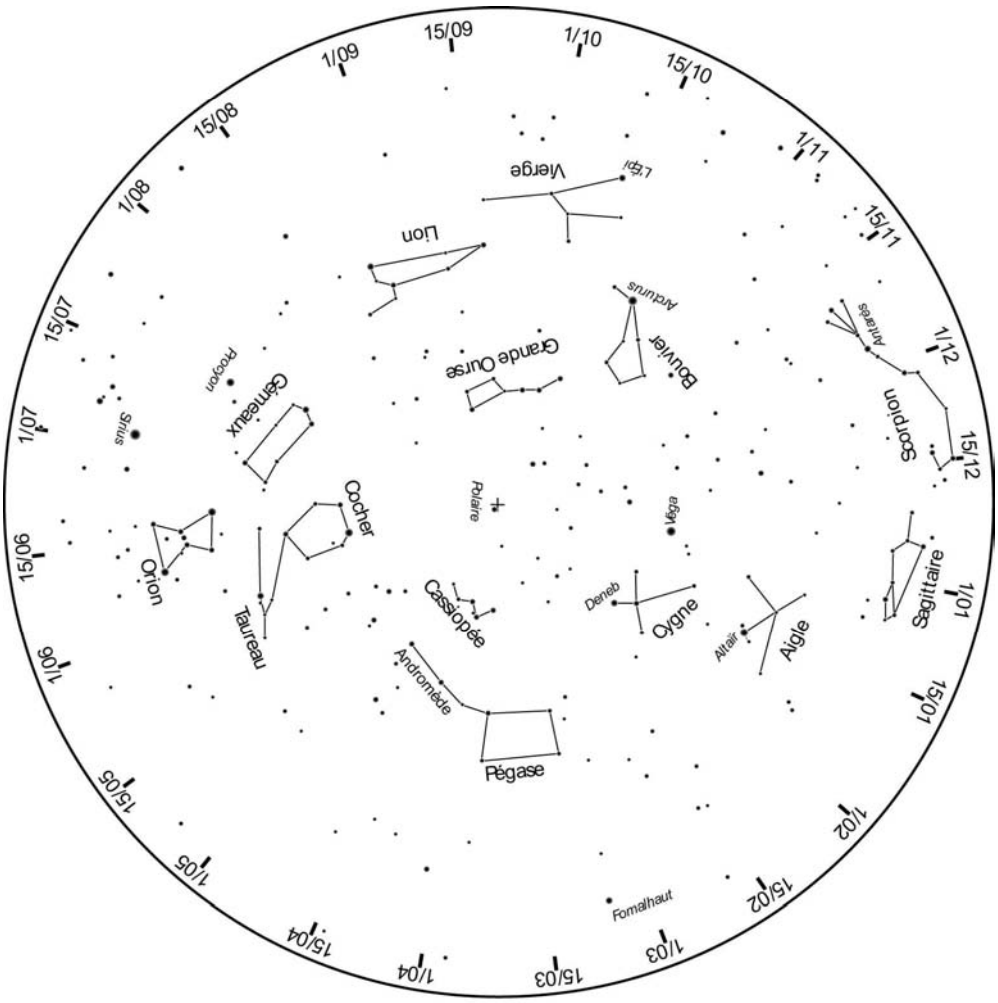


Réalisation
1. Reproduire le dessin ci-contre sur une feuille épaisse genre bristol
2. Découper les deux parties.
3. Marquer les plis de la partie 1 à l'aide d'un couteau en suivant les pointillés.
4. Encoller le dos de la partie 1 et la fixer sur le rectangle grisé de la partie 2. Vous devez obtenir ceci :

Utilisation
Fixer le bristol sur un support horizontal et l'orienter à l'aide d'une boussole.
Noter de temps en temps la position de l'extrémité de l'ombre, toutes les heures par exemple.
Amener ce relevé lors de l'animation.

Construire une carte du ciel

Ces deux pages sont à photocopier sur papier épais de type bristol pour réaliser une carte tournante du ciel



Dijon Jardin des Sciences
muséum - planétarium - jardin botanique

Montage

1. Découpez la carte ci-dessus et faites un trou à l'aide d'une pointe au centre (croix).
2. Découpez la deuxième partie et évidez la fenêtre.
3. Percez la partie inférieure sur la croix avec une pointe.
4. Pliez suivant la ligne médiane.
5. Assemblez la carte et le fond à l'aide d'une attache parisienne.

Votre carte est prête à être utilisée.

Le mode d'emploi est au dos de la carte page suivante.

Bonnes observations !

Cette carte a été calculée pour la latitude de Dijon (47° Nord) mais elle peut être utilisée de 45 à 49 ° de latitude nord.

Dijon Jardin des Sciences
muséum - planétarium - jardin botanique

Cette Carte a été calculée pour la latitude de Dijon (47° Nord)

Bonnes observations !

La position n'étant pas très confortable, il est préférable de tenir la carte devant soi, le sud en bas quand on observe au sud, l'ouest en bas pour observer à l'ouest...

+

La position des points cardinaux peut vous surprendre : si on met le nord en haut, on a l'est à gauche et l'ouest à droite. Tout ceci est normal puisque la carte se tient au dessus de soi.

Tournez la carte pour faire correspondre la date avec l'heure d'observation (enlevez 1 h à votre montre en heure d'hiver ou 2h en heure d'été pour retrouver l'heure TU). Vous avez alors dans la fenêtre le ciel observable.

Utilisation
de la carte tournante du ciel